引用格式：宋大成，肖帅，李天鸣，等. 国外重大科技基础设施开放共享模式比较及对我国的启示. 中国科学院院刊, 2024, 39(3): 447-458, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240129003.
Song D C, Xiao S, Li T M, et al. Comparison of open sharing modes of foreign large-scale scientific facilities and implications for China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(3): 447-458, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240129003. (in Chinese)

国外重大科技基础设施开放共享模式比较及对我国的启示

宋大成[1,2]　肖　帅[3]　李天鸣[3]　温　珂[1,2*]　游玎怡[4]　张　辰[3]　魏　强[3]　郭润桐[1,2]

1 中国科学院大学　公共政策与管理学院　北京　100049
2 中国科学院科技战略咨询研究院　北京　100190
3 中国科学院科技创新发展中心　北京　100190
4 四川大学　公共管理学院　成都　610065

摘要　重大科技基础设施开放共享在开放科学生态系统中扮演着关键角色，对于促进科学技术的发展、增进创新合作和提升国家综合竞争力具有重要意义。文章从资源稀缺性和资源可持续性2个维度出发，系统梳理了重大科技基础设施的4种开放共享模式：公共普惠共享模式、市场响应共享模式、集约保障共享模式和战略合作共享模式。遴选国外代表性案例，通过多案例比较分析，文章进一步阐述了不同开放共享模式的基本特征。最后，基于对这些模式的深入分析，探讨对我国推动重大科技基础设施开放共享方面可借鉴的经验和启示。

关键词　重大科技基础设施，资源稀缺性，资源可持续性，开放共享模式，案例比较

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20240129003

CSTR　32128.14.CASbulletin.20240129003

开放科学正蓬勃发展，科技基础设施、科学数据、科技期刊等科技活动关键要素的开放共享推动着科学研究的广泛合作与创新[1-3]。重大科技基础设施（以下简称“重大设施”）开放共享，作为开放科学的重要组成部分，是指面向社会开放共享大型复杂科学研究装置或系统，为高水平研究活动提供服务①。

*通信作者
资助项目：国家自然科学基金面上项目（71974185），中国科学院科技创新发展中心项目，国家自然科学基金青年项目（72304264）
修改稿收到日期：2024年2月26日

① 国家发展和改革委员会. 国家重大科技基础设施管理办法. (2014-11-24)[2024-01-27]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201411/W020190905507144858846.pdf.

21世纪以来，欧美发达国家将投资与建设重大设施作为提高国家科技能力的重要举措[4,5]。例如，美国在物理、天文、生命科学、信息科技等多个领域建设60多个重大设施，英国建设重大设施数量超过40个，德国超过60个，法国则接近60个[6]。在拥有众多重大设施的同时，这些国家与地区在通过重大设施开放共享促进科技合作、优化资源配置及提升科研效率方面积累了丰富的经验[7]。

截至2022年6月，我国在建和投入运营的重大设施项目约57个，其中32个已建成运行，部分设施在综合性能上已达到全球“第一方阵”[6]。作为重大设施的大国之一，我国始终坚持开放共享的原则，以提高重大设施的资源使用效率并促进科学成果的产出。然而，与国际先进水平相比，我国在重大设施开放共享方面仍存在一定差距，突出表现在项目遴选的重点不突出、缺乏持续的资金投入、开放共享服务能力低等[8,9]。借鉴欧美等国家和地区在重大设施开放共享方面的经验，有助于改进和提升我国在这一领域的实践，形成与开放科学理念和实践相适应的重大设施开放共享模式。

当前学术界关于重大设施开放共享的研究较少，已有研究主要集中于探讨重大设施的产出效益[10]、综合效益评估[11]及评价机制[12]等方面，鲜有对国外重大设施开放共享模式的总结和比较研究。为弥补这一研究议题上的不足，本文从国际比较视角出发，围绕资源稀缺性和资源可持续性深入分析国外重大设施开放共享方面的典型做法和经验，总结不同开放共享模式，以期为我国制定重大设施开放共享政策和改进管理实践提供决策支撑。

1 重大科技基础设施开放共享模式的分类模型

重大设施提供的共享服务是重要科技资源，具有准公共物品属性，非排他但具有使用上的竞争性，即设施共享服务不能同时满足每一位有需求的科研人员[13]。因此，从需求上讲，重大设施共享具有资源稀缺性。从供给来看，重大设施的建设和运营需要高昂的建设成本和维护费用；如何确保设施能够持续提供高质量的共享服务，面临资源可持续性的制约[14]。本文尝试从资源稀缺性和资源可持续供给2个维度出发，探讨重大设施的开放共享模式。

1.1 资源稀缺性

稀缺性指的是在有限的资源条件下，人们对资源的需求总是超过可用资源的数量[15]。资源稀缺性要求根据优先级来做出分配决策[16]。重大设施的稀缺性指用于支持研究开发活动的服务有限，远不能满足科学家的需求，因此需要在服务于哪些科学家或哪些科研活动之间做出选择。

根据资源稀缺性的高低，重大设施开放共享服务的分配策略和重点会有差异。*当资源稀缺性高，即共享服务严重供不应求时，应当优先考虑资源利用效率[17]，将重大设施的分配集中于能够实现科研产出最大化的用户或项目。*据此，重大设施资源管理者会通过设置遴选标准，优先考虑那些对资源有高度依赖性且能实现高产出的专业用户。与之相反，*当资源稀缺性低，即共享服务供给相对充足时，重大设施的服务范围和对象则可以更加宽松和多元化。*较小的供需压力使得管理者可以更多考虑资源分配的多样性和公平性[18]——在满足专业用户的基础上，可以向一般用户开放更多资源，以促进科研的多样性和知识的普及[19]。因此，从资源稀缺性的视角来看，重大设施的分配策略呈现差异：在资源稀缺性高时，注重效率和专业用户的需求；而在资源稀缺性低时，更多地考虑公平性和普及性。

1.2 资源可持续性

可持续性是指在长时间内保持福祉，甚至可能无限期的情况[20]。资源依赖理论提示，应当关注一个组织采取什么样的行动策略，以获取对其自身持续运转

至关重要的可持续性资源[21,22]。在探讨重大设施开放共享模式时，必须考虑开放共享服务的成本补偿机制。

就重大设施的开放共享服务而言，成本补偿一方面依赖于无市场参与时的政府支付，另一方面也可以通过提供有偿服务获得市场化收入[23]。在无市场参与的情况下，政府通过直接投资、科研项目资助等方式，为重大设施提供稳定的资金和专业人才等必要资源[24]。长期稳定的政府支持，覆盖了重大设施的运行成本，确保重大设施能够持续地提供开放共享服务[25]。在有市场参与的情况下，市场主体通过购买服务为重大设施的运营、维护和升级提供额外的经济保障[26]。市场参与模式在增加设施运营经济来源的同时，还通过价格机制优化资源分配[27,28]，以及加强科学研究与产业界的联系，促进技术创新和知识转化[29]。因此，从资源可持续视角来看，重大设施的开放共享区分无市场参与和有市场参与2种情形：无市场参与时，政府支持保障了重大设施开放共享的可持续；而有市场参与时，有偿服务为重大设施的开放共享提供经济补偿，促进利用效率的提升。

1.3 开放共享模式的分类模型

综合考虑“资源稀缺性”和“资源可持续性”2个维度，运用类型学方法，本文提出了4类重大设施开放共享模式（图1）。

1.3.1 公共普惠共享模式

在资源稀缺性较低且无市场参与的情境下，重大设施资源分配和利用的重点在于确保广泛的用户群体能够平等地访问重大设施，以促进科研活动的民主化和全球合作，形成以开放访问策略为核心特征的公共普惠共享模式。在这种模式下，重大设施的使用限制较少，可以为广泛的科学家群体提供使用机会，但重大设施的运行维护重点依赖于政府资金的支持。而政府除了确保重大设施的持续运营和升级，也指导重大设施管理者制定一套评估和审批流程，以确保重大设施的开放共享符合科学价值和社会效益。

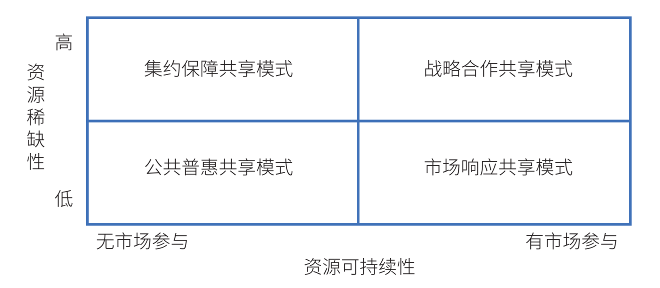


图1　重大科技基础设施开放共享模式

Figure 1　Open sharing modes of large-scale scientific facilities

1.3.2 市场响应共享模式

在资源稀缺性较低且有市场参与的情境下，重大设施根据市场需求和价值创造向愿意购买服务的用户开放设施使用权，形成了以市场机制和成本补偿为核心特征的市场响应共享模式。用户为获取对重大设施的访问或使用权支付费用，设施运营方通过部分市场化来提高资源利用的效率。市场响应共享模式下，重大设施的共享服务转化为市场产品，提供给有需求且愿意支付费用的用户。收费机制将重大设施的部分运营成本转嫁给用户，而支付价格则反映了市场对重大设施共享服务的价值评估。通过有偿服务，政府和市场合作运维重大设施，实现重大设施的长期运营和科研支持能力。

1.3.3 集约保障共享模式

在资源高度稀缺且无市场参与的情境下，资源分配的重点在于确保具有战略意义或承担关键科研任务的用户群体能够获得稳定且持续的资源支持，形成了以集中管理和精细化分配为核心特征的集约保障共享模式。在这一模式下，用户被要求提交在重大设施上开展研究的详细研究方案，由管理机构实施用户筛选和优先级排序，从而确保有限资源得以服务于最具科研潜力和紧迫性的项目。集约保障共享模式强调政府在资源保障、维护和更新方面的关键作用。尽管用户可能需要承担部分成本，但重大设施整体的资金投入、维护和升级工作主要依赖于政府的财政支持和政

策引导。

1.3.4 战略合作共享模式

*在资源高度稀缺和市场参与的情境下，既需要遴选用户以保证重大设施资源配置的效率，也需要通过政府和市场2种途径保障设施使用的可持续性，形成了以建立战略合作伙伴关系为核心特征的战略合作共享模式。*由于资源稀缺，重大设施主要向那些具有研究能力的遴选用户群体提供共享服务；而为了补偿运维成本，会倾向选择那些具有支付能力的用户。重大设施与遴选用户建立战略伙伴关系，遴选用户长期依托重大设施开展合作研究。战略合作共享模式是在资源稀缺约束下，保障重大设施可持续运维和提高开放共享效率的策略选择。

2 重大科技基础设施开放共享模式的典型案例分析

基于上述分类模型，本文选取国外重大设施开放共享的典型案例，分析比较不同模式的运行特征，总结相关经验。

2.1 公共普惠共享模式——欧洲核子研究中心（CERN）开放数据平台

位于瑞士日内瓦附近的欧洲核子研究中心（CERN）是全球最大的粒子物理实验室之一，由欧洲12个国家的合作伙伴组成，主要致力于高能物理领域的研究，探索基本粒子和宇宙的起源与性质。CERN建立并运营了包括大型强子对撞机（LHC）、超级质子同步加速器（SPS）、质子同步加速器（PS）等重要设施。为了满足广泛的数据需求，CERN推出了开放数据平台（Open Data Portal），提供公众访问其实验数据的途径，包括多个实验和研究项目的数据，以及不同探测器的数据集，以确保实验数据得以保存并向广泛受众开放。

重大设施一般可分为技术平台的“硬设施”和数据平台的“软设施”两大类[30]。CERN的开放数据平台作为“软设施”之一，采用面向公众的普惠共享模式。*在资源稀缺性方面，*开放数据平台的建立降低了高能物理领域中实验数据稀缺的程度。由于实验数据的非独占性，即允许多用户同时访问同一数据集而不会导致资源的供应不足；而以往这些高价值的数据主要用于CERN的内部研究和其合作伙伴，普通公众和非合作的科研人员则难以获得访问。*从资源可持续性的角度来看，*CERN的开放数据平台并不依赖市场资金来维持其运营。政府资金的支持足以保证数据平台的开放和持续更新，从而实现了数据的可持续使用。通过访问开放数据平台，用户可以免费获取设施产生的实验数据集，满足研究需求，且无需支付使用费用。

值得注意的是，CERN开放数据平台向公众开放数据需遵循特定的时间规定和政策，如LHC的数据在公开前需要在数据存储中心先保留3年。*公共普惠共享模式下，实验数据的知识产权完全公开，用户可以自由使用这些数据进行分析、验证和研究。*此外，CERN开放数据平台为用户提供了相关的元数据、文档、软件和分析工具等附加资源，帮助用户理解数据背景、实验设计和处理方法，支持用户在数据分析和解释方面的工作。

2.2 市场响应共享模式——德国电子同步加速器中心（DESY）

成立于1959年的德国电子同步加速器中心（DESY）位于德国汉堡，已发展成为全球领先的加速器中心之一。DESY配备了先进的大型加速器设施，如正负电子对撞机（PETRA）和环形加速器（HERA），提供用于实验研究的关键光线和粒子束资源。2022年，DESY的年度预算达到2.3亿欧元，员工总数约2 300人，其中包括约650名科学家；每年约有来自40多个国家的3 000名客座科学家在DESY开展研究工作。

DESY作为市场响应共享模式的典型，为科学研

究与工业界的紧密融合提供了创新性的框架。*在资源稀缺性方面*，DESY以其资源的相对丰富性和可持续性而著称——其不仅支持高水平的科学研究活动，还通过向工业界开放其加速器设施。工业企业用户可以通过联系相关负责人获取设施访问权限，利用这些资源进行项目研发。*针对资源可持续性的挑战*，DESY采用了市场化收入机制来提高其资源可持续性。DESY通过服务工业合作伙伴，从而实施使用费用收取机制，为其设施的维护、运营和支持成本提供了稳定的资金来源。DESY的市场响应共享模式通过优化资源供需关系，不仅提升了资源的使用效率，还为科学研究和工业应用之间的融合创造了条件。此外，该模式通过鼓励科研合作与技术商业化，为不同用户群体提供了持续有效的服务，为设施的运营模式提供了新的视角。

*在市场响应共享模式中，知识产权通常归属于申请者，但科研机构可能保留一定的使用权或其他约束，以平衡资源的可持续性和创新的推动。*例如，Captor Therapeutics是一家生物制药公司，其通过利用DESY的PETRA III设施获取了关键的蛋白结晶衍射数据；这些数据帮助该公司解析靶点蛋白与配体复合物的原子级结构，从而设计和优化新型靶向降解药物。但是，这些数据不会对外共享，属于双方共有产权。DESY的市场响应共享模式体现了如何通过市场机制优化科研资源的供需关系，同时确保科研成果的合理利用和知识产权的管理。

2.3 集约保障共享模式——美国国家强磁场实验室（NHMFL）

美国国家强磁场实验室（NHMFL）是一家专注于高强度磁场研究的科研机构；其由美国国家科学基金会（NSF）资助，并与多家大学和研究机构合作运营。作为全球最大的强磁场实验室之一，NHMFL拥有诸如电子磁共振（EMR）、离子回旋共振（ICR）、脉冲场（Pulsed Field）等重大设施，服务于物理、化学、生物学和材料科学等领域。

NHMFL实施集约保障共享模式来管理和分配磁场设施资源。*在资源稀缺性方面*，NHMFL高强度磁场设施因其数量和供给有限，难以满足所有潜在用户的需求，具体表现在设备数量受限、有限的使用时间，以及广泛的用户需求等。为应对资源稀缺性挑战，NHMFL采用申请和科学委员会评审程序来遴选用户，包括准备文档、创建用户配置文件、在线提交请求及报告研究结果等步骤，旨在确保设施资源分配的公平性。*在资源可持续性方面*，NHMFL几乎不涉及市场参与，重点依赖政府经费来支持其运营，允许遴选用户免费使用高强度磁场设施。通过精确的资源分配、用户遴选和优先级设置，NHMFL提高了设施的使用效率，确保设施资源的持久性和有效性。

*在集约保障共享模式中，用户使用高强度磁场设施产生论文成果时，拥有论文成果归属权，可以自主决定论文的出版和利用方式。*与此同时，NHMFL要求用户公开数据，其他研究者通过公开数据可以验证研究结果、建立新的研究问题，并推动科学社区的合作和创新。此外，NHMFL采用灵活性的访问策略，用户既可以直接操作高强度磁场设施，进行实验和观察；也可以通过网络远程访问，进行实验控制和数据采集。NHMFL的综合管理模式包括内部科学委员会和外部委员会。内部科学委员会负责监督科学研究方向和质量，以确保与实验室使命和目标的一致性。外部委员会包括用户委员会和外部咨询委员会，其中用户委员会专注于提高服务质量和用户满意度，而外部咨询委员会由各领域专家组成，为实验室运营和战略规划提供建议。

2.4 战略合作共享模式——美国阿贡国家实验室（ANL）

美国阿贡国家实验室（ANL）是美国能源部下的一个主要科学与工程研究机构，由芝加哥大学成立的“芝加哥大学阿贡有限责任公司”负责实验室的管理

和运营。作为美国最早建立的国家实验室之一，ANL的员工团队包括约3 500名正式员工、325名博士后和近500名研究生。ANL拥有多个重大设施，包括超级计算机、中子源、光子源和离子加速器等；这些设施每年服务于约6 700名科研用户，为核能、可再生能源和环境科学等不同领域科研活动提供关键支持。

ANL面临的一项主要挑战在于如何有效管理和最大化利用重大设施资源。为应对这一挑战，ANL采取了一种战略性的合作共享模式，这一模式旨在通过与特定用户建立稳固的长期合作关系来充分利用其重大设施资源。*在战略合作共享模式下，支付费用或提供经费支持的特定用户可成为战略合作伙伴，享受优先服务和其他特殊支持。*这种长期的合作关系超越了单个项目，目的在于共同推动重大设施的发展和创新。*在资源可持续方面，*ANL既参与市场活动以获得资金，同时也依靠政府的财政支持来维持其运营。

*通过战略合作共享模式，ANL不仅能够满足特定用户的科研需求，还能促进科技成果的应用和商业化。*例如，ANL的技术专家常驻计划、企业优惠券计划和技术商业化基金等合作计划，促进了与私营部门的合作，推动了能源技术的商业化和发展。这种融合市场导向的战略合作方式，为重大设施资源管理提供了一个创新和实效的模式。ANL的战略合作共享模式不仅为重大设施的长期可持续发展提供了经济基础，还通过充分利用市场机制来优化重大设施资源的利用和提高产出效率，有效应对资源稀缺性的挑战。

总的来看，不同重大设施的开放共享模式各有所长，适应不同的应用场景，取决于重大设施的资源稀缺性和资源可持续性。在用户类别、市场化程度、知识产权等方面，不同的开放共享模式呈现出各自的特点和差异（表1）。

3 对我国的启示

我国已在重大设施建设方面取得了显著成就，但

表1　不同重大科技基础设施开放共享模式的案例比较

Table 1　Comparison of different open sharing modes of large-scale scientific facilities

案例	用户	资源稀缺性	资源可持续性	服务能力	使用权限	服务费用	合作程度	知识产权
欧洲核子研究中心（CERN）开放数据平台	一般用户	低	低	提供设施使用权，鼓励知识共享、跨学科研究和国际合作	向学术界、产业界、非营利组织等不同用户开放	用户以无偿的方式获得设施提供的数据	合作程度低，鼓励开放合作，促进知识共享	成果多属于公共领域，强调知识的开放获取
德国电子同步加速器中心（DESY）	一般用户	低	高	提供对设施有偿的访问和利用权限，适用于需要商业支持或额外服务的项目	用户通过支付费用来获得设施使用权限	用户需要负责全部的科研支出费用	合作程度较高，以合同为基础，注重保护商业利益，建立短期的合作关系	成果归用户所有，或按协议分配
美国国家强磁场实验室（NHMFL）	遴选用户	高	低	推动科学研究发展和创新，通过向遴选用户开放设施，促进协作和知识共享	用户通过提交使用申请，并经过同行评审的过程来获得设施使用权	用户需要覆盖基本使用开销，如水、电、耗材	合作程度较低，按小时或天使用设施	产生的论文成果归属于用户，需要公开数据
美国阿贡国家实验室（ANL）	遴选用户	高	高	与特定的遴选用户建立战略伙伴关系，共同推动基础设施的发展和创新	用户通过支付费用或提供经费支持，成为设施的战略伙伴	用户通过提供经费支持或支付一定的费用成为合作伙伴，享有优先服务和其他特殊支持	合作程度高，旨在建立长期的合作关系，共同实现科学研究和商业目标	产生的知识产权和数据所有权归属于用户和设施管理机构，通常按协议共享或分配

当前更迫切的需求是如何利用好这些重大设施，扩大开放共享，为国家高水平科技自立自强提供战略基础支撑。基于上述开放共享模式分类模型及对国外典型案例的比较分析，本文总结以下5个方面启示。

3.1 依据重大设施类型，分类推进开放共享

国外重大设施依据“资源稀缺性”和“资源可持续性”2个维度，形成差异化的开放共享模式，从而平衡不同用户群体的需求和重大设施服务能力，提高重大设施的利用效率，促进科研合作和创新的多元化发展。相比而言，我国重大设施的开放模式还较为单一，主要以实验提案申请为主[31]。为最大化提升重大设施的效用，需要根据不同类型的设施特点和用途，充分考虑不同类型设施的稀缺性水平和服务功能，制定差异化的共享策略。

*（1）构建分类共享模式。*对于资源稀缺性高的设施，如核聚变实验装置或深海探测设施，可实行严格的使用审核和调度安排，以确保重大设施资源被高效且专业地使用。对于资源稀缺性低的设施，如数据存储和分析平台，应提供更灵活的访问权限，以促进更广泛的科学数据开放共享。

*（2）采取差异化服务与支持策略。*对于学术界用户，可采用集约保障共享模式或公共普惠共享模式，以开放式申请和非歧视原则，以确保重大设施资源的广泛可用性；对于产业界用户，更适宜采用市场响应共享模式或战略合作共享模式，通过付费使用权限和附加服务满足其特定需求。

3.2 重视用户遴选机制设计，构建多维度评估体系

鉴于重大设施资源的稀缺性，用户遴选机制是确保设施资源高效、公平分配的关键。在国外重大设施的管理和运营中，用户遴选机制得到高度重视，综合考量用户的背景、研究成果、项目创新性和社会影响等多个方面，确保资源分配的公平和高效，从而最大化其科研潜力和社会价值。相较于国外成熟的用户遴选体系，我国在用户遴选机制的设计和实施上，尚未形成一个高效、公正的多维度评估体系，这可能导致重大设施资源利用效率不高、科研潜力未能被充分挖掘。因此，针对资源稀缺性问题，我国重大设施开放共享亟待以“非对称、重长板”为原则，建立针对不同用户群体的差异化遴选机制，从而适应科研环境的快速变化和多样化的用户需求。

*（1）对科学界用户的遴选，重点评估预期的科研产出。*在用户遴选中突出申请者在科研领域的长板，重视其研究的创新性、学术背景、研究成果，以及项目对科学的潜在贡献。对于提出新理论或具有潜在重大科学影响的研究项目、合作能力和研究能力受到广泛认可的团队应予以优先支持，从而确保重大设施资源被分配给最有潜力产生重大科学发现的团队或个人。

*（2）对产业界用户的遴选，重点评估项目促进产业发展或产生颠覆性技术创新的潜力。*考察项目对现有技术或产品的改进潜力、市场应用的可行性、商业潜力，以及可能带来的经济效益，优先支持那些有望推动产业技术进步或引领新的市场趋势的项目。这不仅有助于提高重大设施资源使用效率，还能够促进经济增长和技术创新。

3.3 对市场服务提供定价指导，保障重大设施可持续运维

考虑到重大设施的运营和维护需要显著的资金投入，引入市场参与机制，特别是通过向企业用户提供有偿服务，是增强重大设施资源可持续性的有效策略。国际经验表明，重大设施在面向企业用户开放共享过程中，提供有偿服务已经成为一种广泛采纳的做法[32]。然而，我国在这方面的实践相对落后，企业用户在重大设施利用中的比例偏低，这导致重大设施潜在的经济和社会价值未能充分实现，重大设施的市场参与度也未达到预期效果[33,34]。调研显示，重大设施资源的可持续性关键在于对有偿服务提供定价指导，制定既合理又有效的价格政策，鼓励更广泛的市场参

与和利用，以支持设施长期运行和发展②。

（1）坚持成本补偿和非营利性原则。有偿服务定价策略的核心在于确保价格能够真实反映重大设施服务的价值。这意味着定价不仅要考虑直接成本、运营维护费用、人员成本等，还要基于全面的成本效益分析，以确保用户支付的费用合理体现重大设施服务的质量和效益。

（2）差异化或合理分层定价。考虑不同用户群体的支付能力和服务需求的多样性，可以通过灵活的定价结构（如分层定价、合作定价、按需定价等）来适应不同用户的需求。例如，分层定价适用于不同级别的服务需求，合作定价适用于长期合作伙伴，按需定价则贴合特定项目的需求。

（3）定价策略应透明和灵活。为确保重大设施的长期有效运行和社会价值的最大化，重大设施定价结构应是透明的，应使得科研机构、企业、公众等不同用户，都能够理解定价背后的原理和考量因素，以有助于建立信任机制。灵活性则是指定价机制不是一成不变的，而是可以根据实际情况进行及时调整，包括市场需求的波动、技术进步、政策调整等因素。

3.4 提高开放共享服务能力，支撑高水平科研活动

在国外，许多设施依托单位已经建立了成熟的重大设施开放共享机制，通过公正、透明的申请评审程序和高效的信息平台，确保重大设施资源的合理分配和使用[35]。同时，特别注重提供先进的实验装备和技术支持，以促进跨学科合作。相比之下，在我国，设施依托单位在开放共享机制的构建和技术支持等方面的服务能力亟待提升。

（1）构建公正、透明且高效的开放共享机制。引入国际化、小同行专家评审团队，建立公正、透明的申请评审流程，确保资源分配的科学性和公正性。同时，加强流程的透明度，确保用户对申请过程和结果有清晰的了解。

（2）加强信息平台建设，提升平台功能和技术支持。重大设施应增加对设备维护和升级的投入，提高技术服务人员的专业水平，以及提供更加全面和个性化的用户技术支持，从而提高研究效率和深度，促进高水平研究项目的开展。

3.5 重视重大设施的公益性特征，扩大开放科学的获益范围

随着开放科学的发展，越来越多的国家采纳普惠性和公益性的策略来管理其重大设施，旨在通过扩大设施的开放共享，覆盖更广泛的用户群体，促进科学知识的民主化和科研机会的均等化[36,37]。例如，2021年NHMFL用户的76%来自大学，16%来自政府实验室，8%来自工业界；而我国一些重大设施的企业用户不足1%[38]。对比来看，我国重大设施仍然倾向于服务特定的“精英”团体，普惠性尚未充分体现，这在一定程度上限制了重大设施资源的广泛应用和科技成果的社会化。在开放科学的背景下，我国在推进重大设施开放共享的进程中，应更加重视普惠化的开放共享，以期最大化发挥重大设施资源的社会价值。

（1）在确保核心科研任务不受影响的前提下，逐步降低访问与使用重大设施的门槛。特别是对于资源匮乏的中小型科研团队、独立研究者、企业等用户提供更多支持。同时，为推动跨学科和跨领域研究的融合与创新，应加强对这些跨界项目的鼓励与支持，从而促进科学领域内知识与技术的交叉融合。

（2）利用数字化手段，打破地域使用限制。通过建立在线共享平台等数字化手段，为用户提供更加灵活便捷的虚拟访问与远程操作能力，从而提升重大设施资源的利用效率。

② 根据调查，发现有些单位表示对不同用户的定价是一致的；同时，也有单位指出目前让机构自主定价的做法普遍存在定价偏低的情况，无法完全覆盖成本需求。

参考文献

1 郭华东, 陈和生, 闫冬梅, 等. 加强开放数据基础设施建设, 推动开放科学发展. 中国科学院院刊, 2023, 38(6): 806-817.
Guo H D, Chen H S, Yan D M, et al. Strengthening open data infrastructure and promoting open science. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(6): 806-817. (in Chinese)

2 曲建升, 刘春江, 田倩飞, 等. 面向开放科学的元出版理念与平台建设实践. 中国科学院院刊, 2023, 38(7): 1023-1036.
Qu J S, Liu C J, Tian Q F, et al. Philosophy of meta publishing and practice of platform construction toward open science. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38 (7): 1023-1036. (in Chinese)

3 张智雄, 张梦婷, 林歆, 等. 开放科学环境下全球科技期刊的发展态势. 中国科学院院刊, 2023, 38(6): 795-805.
Zhang Z X, Zhang M T, Lin X, et al. Developing trend of global scientific journals in open science environment. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(6): 795-805. (in Chinese)

4 Hallonsten O, Heinze T. Institutional persistence through gradual organizational adaptation: Analysis of national laboratories in the USA and Germany. Science and Public Policy, 2012, 39(4): 450-463.

5 Papon P. European scientific cooperation and research infrastructures: Past tendencies and future prospects. Minerva, 2004, 42(1): 61-76.

6 王贻芳. 中国重大科技基础设施的现状和未来发展. 科技导报, 2023, 41(4): 5-13.
Wang Y F. Current status and future prospects of the national major infrastructure for science and technology. Science & Technology Review, 2023, 41(4): 5-13. (in Chinese)

7 陈岸明, 魏东原. 粤港澳大湾区重大科技基础设施布局的优化分析——基于国际比较的视角. 国际经贸探索, 2020, 36(10): 86-99.
Chen A M, Wei D Y. Optimal analysis of the layout of major science and technology infrastructure in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: Based on the perspective of international comparison. International Economics and Trade Research, 2020, 36(10): 86-99. (in Chinese)

8 王立伟, 刘军, 张爱平, 等. 长三角重大科技基础设施共建共享机制探索. 科技导报, 2022, 40(9): 14-19.
Wang L W, Liu J, Zhang A P, et al. Exploration on the co-construction and sharing mechanism of large scale scientific facilities in the Yangtze River Delta. Science & Technology Review, 2022, 40(9): 14-19. (in Chinese)

9 王贻芳, 白云翔. 发展国家重大科技基础设施引领国际科技创新. 管理世界, 2020, 36(5): 172-188.
Wang Y F, Bai Y X. Developing mega-science facility to lead the innovation globally. Management World, 2020, 36(5): 172-188. (in Chinese)

10 李华东, 张晶晶, 刘细文. 重大科技基础设施对学科领域发展影响的计量评价——以对撞机为例. 科技管理研究, 2022, 42(8): 74-81.
Li H D, Zhang J J, Liu X W. Quantitative evaluation of the impact of large research infrastructures on the discipline development: Taking colliders as an example. Science and Technology Management Research, 2022, 42(8): 74-81. (in Chinese)

11 敦帅, 陈强, 陈力, 等. 重大科技基础设施运行效益影响机制研究——基于"投入—产出"视角的定性比较分析. 中国软科学, 2021(4): 11-21.
Dun S, Chen Q, Chen L, et al. Study on the impact mechanism of operational benefits of large research infrastructure: Qualitative comparative analysis based on the perspective of "input-output". China Soft Science, 2021(4): 11-21. (in Chinese)

12 乔黎黎. 重大科技基础设施评价机制研究. 科学学研究, 2021, 39(1): 33-41.
Qiao L L. Research on the evaluation mechanism of large research infrastructure. Studies in Science of Science, 2021, 39(1): 33-41. (in Chinese)

13 Qiao L L, Mu R P, Chen K H. Scientific effects of large research infrastructures in China. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 112: 102-112.

14 张渤, 王雪, 孙从理. 重组后的全国重点实验室科技经费配置政策研究. 中国科学院院刊, 2023, 38(11): 1698-1709.
Zhang B, Wang X, Sun C L. Policy research on allocation of

science and technology funds for state key laboratory after reorganization. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(11): 1698-1709. (in Chinese)

15 Mullainathan S, Shafir E. Scarcity: Why Having Too Little Means So Much. New York: Macmillan, 2013.

16 Norgaard R B. Economic indicators of resource scarcity: A critical essay. Journal of Environmental Economics and Management, 1990, 19(1): 19-25.

17 Rogow A A, Simon H A, Komarovsky M. Models of man: Social and rational. Midwest Journal of Political Science, 1957, 1(3/4): 352.

18 Damanpour F, Schneider M. Phases of the adoption of innovation in organizations: Effects of environment, organization and top Managers[1]. British Journal of Management, 2006, 17(3): 215-236.

19 Kinney A L. National scientific facilities and their science impact on nonbiomedical research. PNAS, 2007, 104(46): 17943-17947.

20 Kuhlman T, Farrington J. What is sustainability?. Sustainability, 2010, 2(11): 3436-3448.

21 Hillman A J, Withers M C, Collins B J. Resource dependence theory: A review. Journal of Management, 2009, 35(6): 1404-1427.

22 Reitz H J, Pfeffer J, Salancik G R. The external control of organizations: A resource dependence perspective. The Academy of Management Review, 1979, 4(2): 309.

23 Lee S H, Peng M W, Song S. Governments, entrepreneurs, and positive externalities: A real options perspective. European Management Journal, 2013, 31(4): 333-347.

24 Yu N N, Dong Y Y, de Jong M. A helping hand from the government? How public research funding affects academic output in less-prestigious universities in China. Research Policy, 2022, 51(10): 104591.

25 孙昌璞. 合理运用市场机制,实现基础研究多元化协同支持. 科学与社会, 2020, 10(4): 5-8.

Sun C P. Achieving diversified and collaborative support for basic research by using market mechanisms. Science and Society, 2020, 10(4): 5-8. (in Chinese)

26 樊建平. 蝴蝶模式: 大科学时代科研范式的创新探索——基于中国科学院深圳先进技术研究院15年科学与产业融合发展的实践. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 708-716.

Fan J P. Butterfly pattern: Innovative exploration of scientific research paradigm in era of big science—Based on 15-year practice of integrated development of science and industry in Shenzhen Institute of Advanced Technology (SIAT), Chinese Academy of Sciences. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(5): 708-716. (in Chinese)

27 章萍. 重大科技基础设施公私合作路径研究——基于"伽利略"计划的启示. 科学与社会, 2021, 11(1): 31-43.

Zhang P. Research on the path of public-private partnership in major scientific and technological infrastructure—Based on the inspiration of the "Galileo" project. Science and Society, 2021, 11(1): 31-43. (in Chinese)

28 陈力, 刘笑, 陈强. 社会资本参与重大公共科技基础设施建设面临问题及对策——来自国外科技领域公私合作的经验与启示. 中国软科学, 2017, (6): 14-20.

Chen L, Liu X, Chen Q. Problems and countermeasures in the participation of social capital in the construction of major public S & T infrastructures: Experience and enlightenment from public-private partnership in science and technology fields abroad. China Soft Science, 2017, (6): 14-20. (in Chinese)

29 常旭华, 仲东亭. 国家实验室及其重大科技基础设施的管理体系分析. 中国软科学, 2021(6): 13-22.

Chang X H, Zhong D T. Study on management system of nation's laboratory and its large research infrastructure. China Soft Science, 2021(6): 13-22. (in Chinese)

30 李泽霞, 郭世杰, 董璐, 等. 趋势观察: 国际重大科技基础设施布局特点及发展趋势. 中国科学院院刊, 2021, 36(4): 514-516.

Li Z X, Guo S J, Dong L, et al. Trends observation: Layout features and development trends of major international science and technology infrastructure. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(4): 514-516. (in Chinese)

31 夏金瑶, 尹红星, 邓泉, 等. EAST重大科技基础设施开放共享机制. 中国科学基金, 2023, 37(4): 692-698.

Xia J Y, Yin H X, Deng Q, et al. Research on the open and sharing mechanism of EAST major scientific and technological infrastructure. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2023, 37(4): 692-698. (in

Chinese)

32 胡艳, 张安伟. 新发展格局下大科学装置共建共享路径研究. 区域经济评论, 2022, (2): 112-119.

Hu Y, Zhang A W. Research on the path of co-construction and sharing of large-scale scientific facilities under the new development pattern. Regional Economic Review, 2022, (2): 112-119. (in Chinese)

33 王婷, 蔺洁, 陈凯华. 面向2035构建以重大科技基础设施为核心的基础研究生态体系. 中国科技论坛, 2020, (8): 7-9.

Wang T, Lin J, Chen K H. Building a basic research ecosystem with major scientific and technological infrastructure as the core for 2035. Forum on Science and Technology in China, 2020, (8): 7-9. (in Chinese)

34 王慧斌, 白惠仁. 德国大科学装置的开放共享机制及启示. 中国科学基金, 2019, 33(3): 308-312.

Wang H B, Bai H R. Enlightenment of German mechanism of opening and sharing large-scale scientific facilities. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2019, 33(3): 308-312. (in Chinese)

35 Schroeder R. E-research infrastructures and open science: Towards a new system of knowledge production? 1. Prometheus, 2007, 25(1), doi: 10.1080/08109020601172860.

36 温珂, 宋大成, 游玎怡, 等. 政策计量视角下我国科学数据开放共享政策演进与体系构建. 科学通报, 2023, doi: 10.1360/TB-2023-0394.

Wen K, Song D C, You D Y, et al. Features and current situation of the evolution of China's scientific data open sharing policy from the perspective of policy bibliometric. Chinese Science Bulletin, 2023, doi: 10.1360/TB-2023-0394. (in Chinese)

37 Vicente-Saez R, Martinez-Fuentes C. Open Science now: A systematic literature review for an integrated definition. Journal of Business Research, 2018, 88: 428-436.

38 National High Magnetic Field Laboratory. Full 2022 annual report. (2024-04-10) [2024-01-27]. https://nationalmaglab.org/about-the-maglab/facts-figures/annual-report/.

Comparison of open sharing modes of foreign large-scale scientific facilities and implications for China

SONG Dacheng[1,2] XIAO Shuai[3] LI Tianming[3] WEN Ke[1,2*] YOU Dingyi[4]
ZHANG Chen[3] WEI Qiang[3] GUO Runtong[1,2]
（1 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
2 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
3 Science and Technology Innovation Development Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
4 School of Public Administration, Sichuan University, Chengdu 610065, China）

Abstract The open sharing of large-scale scientific facilities plays a pivotal role in the ecosystem of open science. This is of great significance for promoting the development of science and technology, enhancing innovation cooperation, and boosting the overall competitive strength of nations. Starting from two dimensions of resource scarcity and sustainability, this study systematically sorts out four open sharing modes of large-scale scientific facilities: the public and inclusive sharing mode, the market response sharing mode, the intensive guarantee sharing mode, and the Strategic Cooperation Sharing Mode. Through the comparison analysis of four foreign large-scale scientific facilities, the study further elaborates the basic characteristics and applicable conditions of different open sharing modes. Finally, based on the in-depth analysis of the above modes, the implications for promoting the open sharing of large-scale scientific facilities in China are discussed.

Keywords large-scale scientific facilities, resource scarcity, resource sustainability, open sharing modes, case comparison

宋大成 中国科学院大学、中国科学院科技战略咨询研究院博士研究生。主要研究领域:科学数据共享。
E-mail: songdacheng22@mails.ucas.ac.cn

SONG Dacheng Ph. D. Candidate at University of Chinese Academy of Sciences (UCAS) and the Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on scientific data sharing.
E-mail: songdacheng22@mails.ucas.ac.cn

温 珂 中国科学院科技战略咨询研究院创新发展政策研究所执行所长、研究员，中国科学院大学公共政策与管理学院岗位教授。主要研究领域:科技政策、创新战略与管理。E-mail: wenke@casisd.cn

WEN Ke Research Professor and Executive Director of the Institute of Innovation Development Policy, Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS), Professor at School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences (UCAS). Her research focuses on science and technology policy and innovation strategy and management.
E-mail: wenke@casisd.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author